تقنية التحكم الآلي- نظري

منظومة التحكم ذات الدائرة المغلقة

منظومة التحكم ذات الدائرة المغلقة

٤

الوحدة الرابعة : منظومة التحكم ذات الدائرة المغلقة

٤- ١. التحكم ذو الدائرة المغلقة

٤- ٢. تحليل إشارة الخطأ في الحلقة المغلقة

٤- ٣. تعريف إشارة الخطأ

٤- ٤. تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي

٤- ٥. تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التكاملي

٤- ٦. تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي التكاملي

٤- ٧. تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

تمارين

الأهداف

تعريف النظام المغلق

معرفة مزايا النظام المغلق

تعريف إشارة الخطأ في حلقة تحكم مغلقة

تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي

تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التكاملي

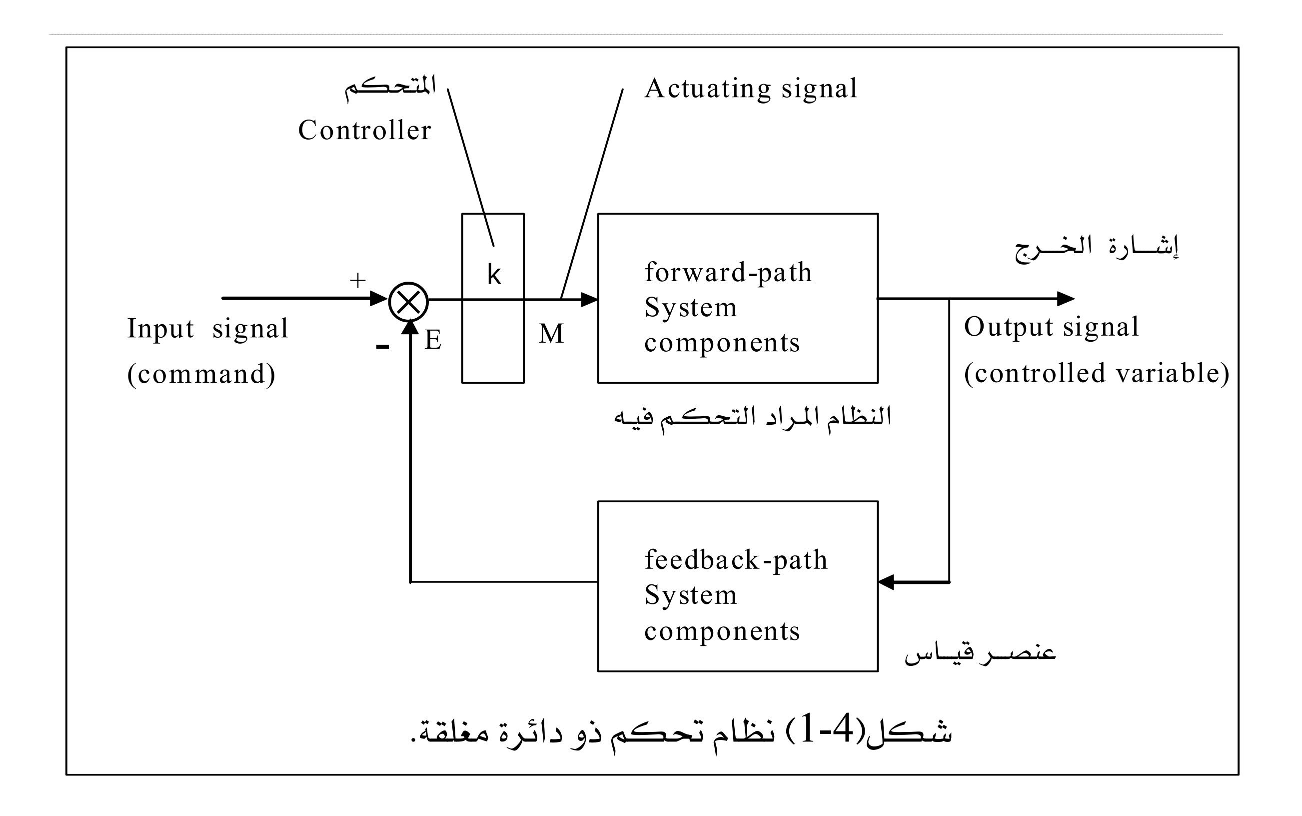
تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي التكاملي

تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التفاضلي

تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

٤- ١ التحكم ذو الدائرة المغلقة Closed-loop Control

نظام التحكم ذو الدائرة المقفلة هو نظام تكون فيه إشارة الخرج لها تأثير مباشر على عملية التحكم. بمعنى أن أنظمة التحكم ذات الدائرة المقفلة هي أنظمة تحكم ذات تغذية خلفية.



شكل(4-1) نظام تحكم ذو دائرة مغلقة.

ويبين شكل(4-1) الرسم التخطيطي block diagram لتمثيل نظام تحكم ذي دائرة مقفلة، وفيه فان إشارة الفرق بين الدخل وإشارة التغذية الخلفية E تقوم بتشغيل المتحكم controller K ليؤثر على الوحدة أو النظام المراد التحكم فيه plant للعمل على تقليل الخطأ بين الدخل و الخرج ضبط الخرج عند القيمة المطلوبة. ويجب ملاحظة أن عنصر القياس هنا (أو جهاز القياس) يقوم بقياس الخرج وتحويله إلى إشارة تماثل إشارة الدخل في الوحدات والكميات حتى يمكن مقارنة الدخل والخرج في عنصر المقارنة. ويسمى الدخل هنا عادة الدخل المقارن وذلك لأنه تتم مقارنته مع إشارة التغذية الخلفية التي هي الخرج بعد قياسه وتحويله إلى إشارة ممكن مقارنتها بالدخل. ومن أمثلة عناصر المقارنة المكبر الإلكتروني operational amplifier وهناك عناصر مقارنة ميكانيكية وأجهزة الهواء المضغوط وخلافه.

ونظرا لأن إشارة التحكم M الخارجة من المتحكم تكون عادة قيمتها صغيرة فإننا نستخدم مكبر قدرة (كهربائي أو ميكانيكي) ليستطيع التأثير على النظام المراد التحكم فيه plant . وهذا المكبر غير مبين في الرسم.

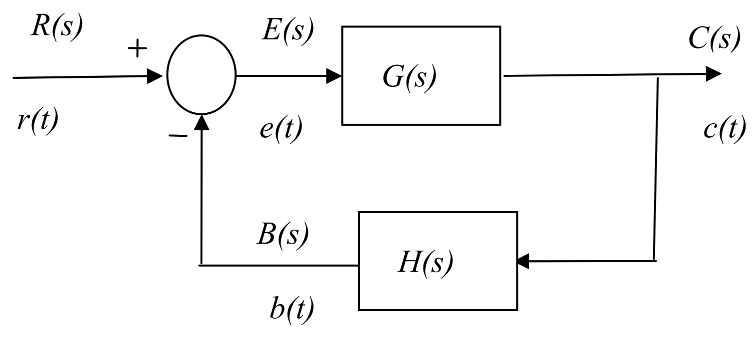
تتميز أنظمة التحكم ذات الدائرة المغلقة باستخدام التغذية الخلفية التي تجعل النظام المتحكم فيه قليل الحساسية للاضطرابات الخارجية والتغيرات الداخلية في معاملات النظام. وعلى ذلك فإنه يمكن استخدام مكونات رخيصة وأقل دقة نسبيا للحصول على نظام تحكم دقيق، وهذا غير ممكن في حالة التحكم ذي الدائرة المفتوحة.

٤- ٢ تحليل إشارة الخطأ في الحلقة المغلقة

درسنا في الوحدة السابقة الاستجابة الزمنية لنظم الرتبة الأولى والثانية، وسنتطرق في هذه الوحدة إلى إشارة الخطأ التي تنشأ في حلقات التحكم المغلقة وسنقوم بتحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي والحاكم التكاملي والحاكم التناسبي التكاملي والحاكم التفاضلي والحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي. وسيتم استخدام برنامج Simulink لعمل محاكاة للحاكمات التي ستتم دراستها لتوضيح تأثير هذه الحاكمات على استجابة الحلقات المغلقة.

٤- ٣ تعريف إشارة الخطأ

يمثل الشكل 3-1 حلقة تغذية خلفية نموذجية، ومنها تظهر إشارة الخطأ كفرق بين الإشارتين $r(t)$ و $b(t)$ حيث $r(t)$ هي الدخل المرجعي و $b(t)$ قياس للقيمة الواقعية للمتغير



الشكل(2-4)حلقة تغذية خلفية

المراد التحكم فيه $c(t)$.

$$e(t) = r(t) - b(t)$$

للتبسيط سندرس حالة التغذية الخلفية الأحادية ($H(s)=1$) وعندئذ تكون معادلة إشارة الخطأ في المجال الزمني كما يلي

$$e(t) = r(t) - c(t) \qquad (1\text{-}4)$$

ويمكن كتابتها في مجال المتغير المركب s كما يلي

$$E(s)) = R(s) - C(s) \qquad (2\text{-}4)$$

وعلمنا من الوحدة الأولى أن دالة التحويل للنظام المغلق في حالة التغذية الخلفية الأحادية كما يلي:

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \qquad (3\text{-}4)$$

ومنها نستنتج أن:

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)} R(s) \qquad (4\text{-}4)$$

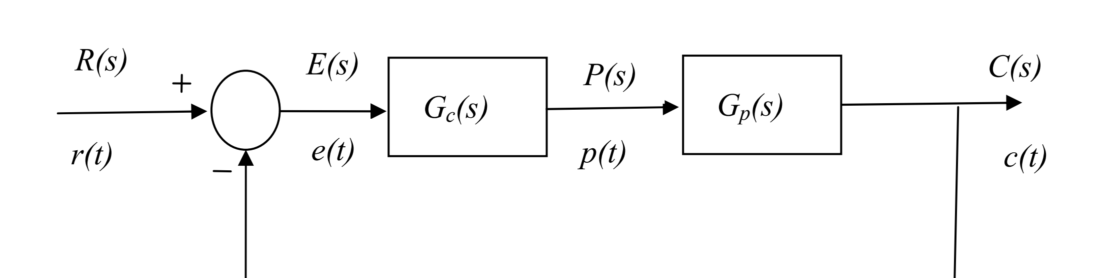
وبالتعويض عن $C(s)$ في المعادلة 3-2 نحصل على تحويل لابلاس لإشارة الخطأ كما يلي:

$$E(s) = \frac{1}{1 + G(s)} R(s) \qquad (5\text{-}4)$$

يمثل الشكل(4-3) المخطط الصندوقي لحلقة تحكم ذات تغذية خلفية أحادية مع وجود حاكم في المسار الأمامي، حيث:

$G_p(s)$ دالة تحويل النظام المراد التحكم فيه

$G_c(s)$ دالة تحويل الحاكم



الشكل(3-4) حاكم في حلقة تحكم ذات تغذية خلفية أحادية

لاحظ أن المسار الأمامي يتكون من صندوقين $G_c(s)$ و$G_p(s)$ موصلين على التوالي ومن ثم يمكن دمجهما في صندوق واحد دالة تحويلة $G(s)=G_c(s)\cdot G_p(s)$

ومن ثم تكون دالة تحويل النظام المغلق كما يلي:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_p(s)} \qquad (6\text{-}4)$$

ومن ثم يصبح تحويل لابلاس لإشارة الخطأ على النحو التالي:

$$E(s) = \frac{1}{1+G_c(s)G_p(s)}R(s) \qquad (7\text{-}4)$$

٤ - ٤ تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي

المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي على النحو التالي:

$$p(t)=K_p e(t)$$

بإدخال تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة الزمنية للحاكم نحصل على

$$P(s)= K_p E(s)$$

ومن ثم تكون دالة تحويل الحاكم التناسبي هي:

$$G_c(s) = K_p \quad (8\text{-}4)$$

لشرح تأثير الحاكم التناسبي على استجابة الحلقة المغلقة نستخدم دخلا مرجعيا على هيئة إشارة خطوة ارتفاعها R_0 ونظام يراد التحكم فيه من الرتبة الأولى:

$$r(t) = \begin{cases} R_0 & t \ge 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

ومن ثم يكون تحويل لابلاس لإشارة الدخل المرجعي

$$R(s) = \frac{R_0}{s}$$

الصيغة العامة لدالة تحويل نظم الرتبة الأولى على النحو التالي:

$$G_p(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

بالتعويض عن $G_c(s)$ و $G_p(s)$ و $R(s)$ في المعادلة 3-7 نحصل على تحويل لابلاس لإشارة الخطأ على النحو التالي:

$$E(s) = \frac{1}{1 + K_p \dfrac{1}{\tau s + 1}} \bullet \frac{R_0}{s} \quad (9\text{-}4)$$

بتوحيد المقام في مقام المعادلة 3-9 نحصل على

$$E(s) = R_0 \frac{\tau s + 1}{s(\tau s + 1 + K_p)} \quad (10\text{-}4)$$

باستخدام قانون القيمة النهائية نحصل على

$$e_{ss} = \lim_{s \to 0} sE(s) = \lim_{s \to 0} sR_0 \frac{\tau s + 1}{s(\tau s + 1 + K_p)} = \frac{R_0}{1 + K_p} \quad (11\text{-}4)$$

تفيد المعادلة (4-11) أن القيمة النهائية لإشارة الخطأ ليست منعدمة، ومن ثم يتضح أن الحاكم التناسبي لا يلغي إشارة الخطأ، غير أنه يمكن التقليل من إشارة الخطأ بزيادة معامل الحاكم التناسبي K_p. لكن الزيادة المفرطة قد تؤدي إلى عدم الاستقرار.

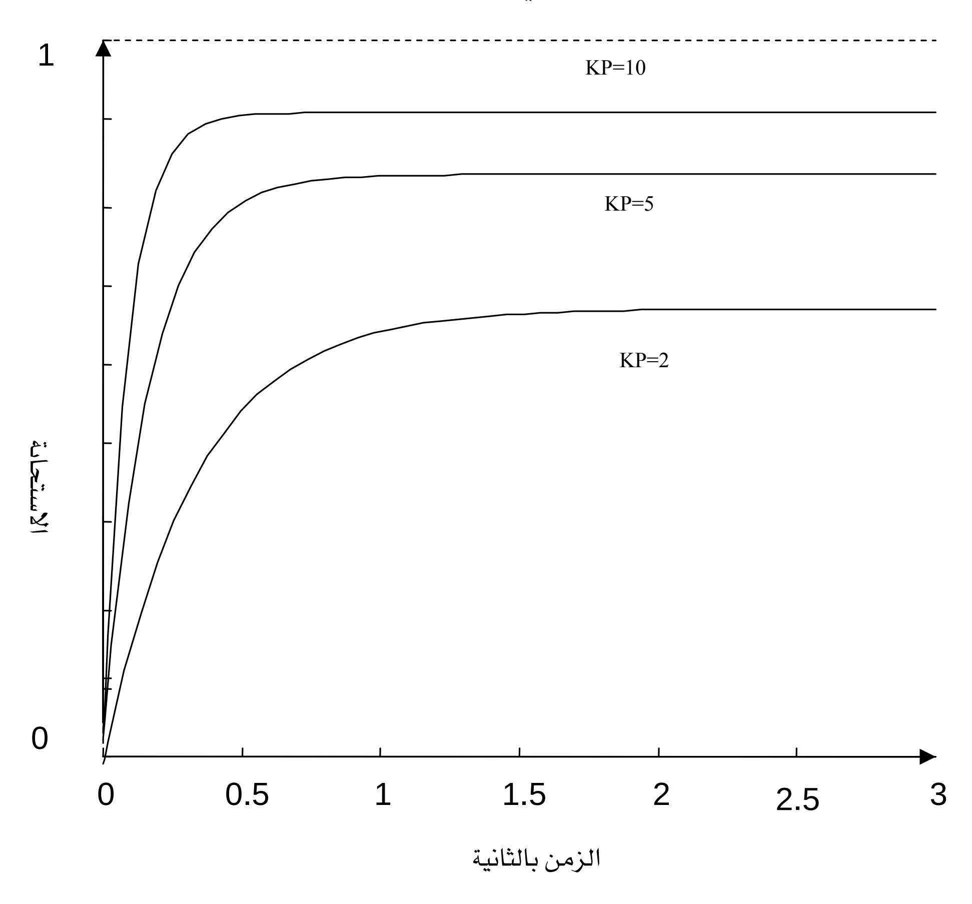
تم عمل محاكاة لحاكم تناسبي في حلقة تغذية خلفية بواسطة برنامج Simulink أحادية

حيث: $G_p(s) = \frac{1}{s+1}$ و الدخل المرجعي $r(t) = 1$

وباختيار معامل الحاكم كما يلي

$$K_p = 2 \qquad K_p = 5 \qquad K_p = 10$$

والشكل 3-3 يوضح تأثير الحاكم التناسبي على استجابة حلقة مغلقة ذات تغذية خلفية أحادية.



الشكل(4-4) تأثير الحاكم التناسبي على استجابة نظام تحكم مغلق.

٤- ٥ تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التكاملي

المعادلة الزمنية للحاكم التكاملي على النحو التالي:

$$p(t) = K_I \int_0^t e(\tau)d\tau$$

و دالة تحويل الحاكم التكاملي هي:

$$G_c(s) = \frac{K_I}{s} \qquad (12\text{-}4)$$

لشرح تأثير الحاكم التكاملي على استجابة الحلقة المغلقة نستخدم دخلا مرجعيا على هيئة إشارة خطوة ارتفاعها R_0 ونظام يراد التحكم فيه من الرتبة الأولى:

$$r(t) = \begin{cases} R_0 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

ومن ثم يكون تحويل لابلاس لإشارة الدخل المرجعي

$$R(s) = \frac{R_0}{s}$$

الصيغة العامة لدالة تحويل نظم الرتبة الأولى على النحو التالي:

$$G_p(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

بالتعويض عن $G_c(s)$ و $G_p(s)$ و $R(s)$ في المعادلة (4-7) نحصل على تحويل لابلاس لإشارة الخطأ على النحو التالي:

$$E(s) = \frac{1}{1 + \frac{K_I}{s} \bullet \frac{1}{\tau s + 1}} \bullet \frac{R_0}{s} \qquad (13\text{-}4)$$

بتوحيد المقام في مقام المعادلة 4-13 نحصل على

$$E(s) = \frac{s(\tau s + 1)}{(\tau s^2 + s + K_I)} \bullet \frac{R_0}{s} \qquad (14\text{-}4)$$

باستخدام قانون القيمة النهائية نحصل على

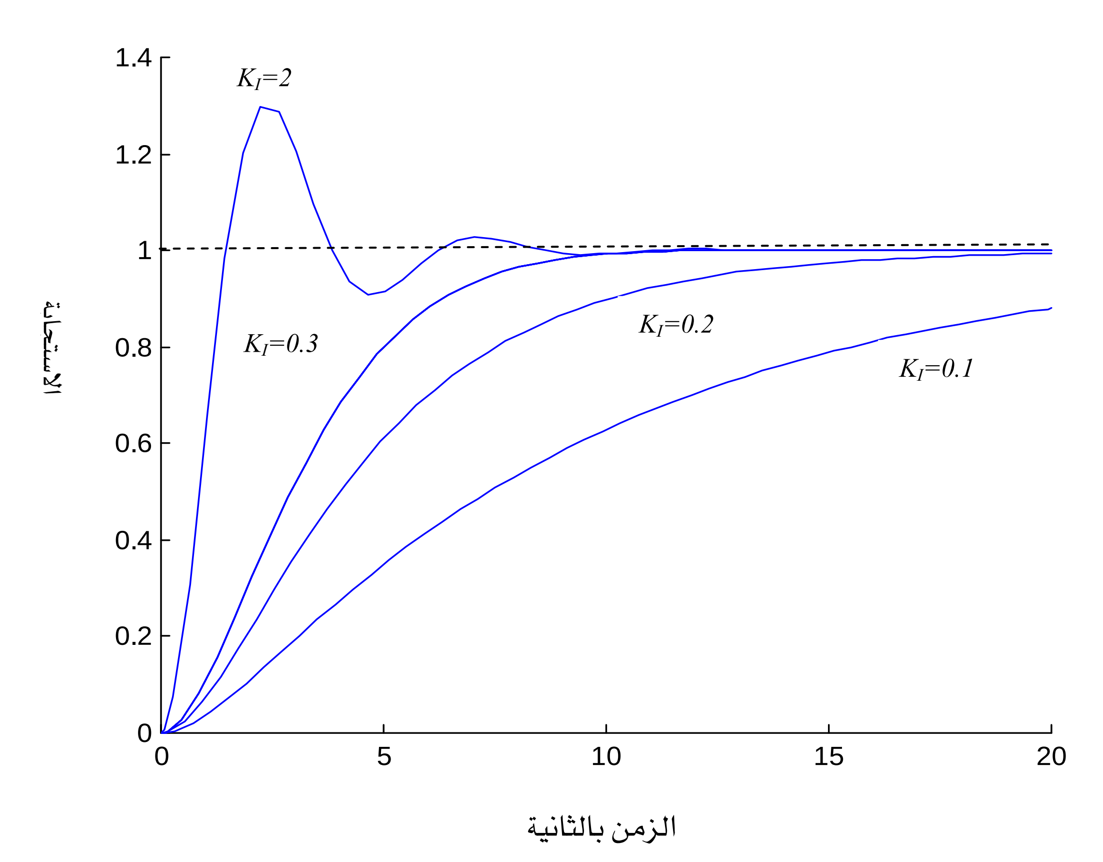
$$e_{ss} = \lim_{s \to 0} sE(s) = \lim_{s \to 0} s \bullet \frac{R_0}{s} \bullet \frac{s(\tau s+1)}{(\tau s+1+K_I)} = 0 \quad (15\text{-}4)$$

يتضح من المعادلة (15-4) أن القيمة النهائية لإشارة الخطأ في حالة استخدام الحاكم التكاملي منعدمة، وهذا يعني أن القيمة النهائية للمتغير المراد التحكم فيه تساوي الدخل المرجعي.

تم عمل محاكاة لحاكم تكاملي في حلقة تغذية خلفية أحادية بواسطة برنامج Simulink حيث دالة تحويل النظام هي $G_p(s) = \frac{1}{s+1}$ و الدخل المرجعي $r(t) = 1$ وباختيار معامل الحاكم كما يلي:

$$K_I = 0.1 \qquad K_I = 0.2 \qquad KI = 0.3 \qquad K_I = 2$$

تم رسم منحنى الاستجابة بنفس البرنامج (Simulink) في الشكل(4-5) والذي يوضح تأثير الحاكم التكاملي على استجابة نظام تحكم مغلق ذي تغذية خلفية أحادية.



الشكل(4-5) تأثير الحاكم التكاملي على استجابة نظام تحكم

٤- ٦ تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي التكاملي

المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التكاملي على النحو التالي:

$$p(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau$$

و دالة تحويل الحاكم التناسبي التكاملي هي:

$$G_c(s) = \frac{K_p s + K_I}{s} \qquad (16\text{-}4)$$

لشرح تأثير الحاكم التناسبي التكاملي على استجابة الحلقة المغلقة نستخدم دخلا مرجعيا على هيئة إشارة خطوة ارتفاعها R_0: $r(t) = \begin{cases} R_0 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$ ، ومن ثم تحويل لابلاس لإشارة الدخل المرجعي هو $R(s) = \frac{R_0}{s}$ ، والنظام المراد التحكم فيه من الرتبة الأولى، الصيغة العامة لدالة تحويله على النحو التالي:

$$G_p(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

وبالتعويض عن $G_c(s)$ و $G_p(s)$ و $R(s)$ في المعادلة 4-7 نحصل على تحويل لابلاس لإشارة الخطأ على النحو التالي:

$$E(s) = \frac{1}{1 + \frac{K_p s + K_I}{s} \bullet \frac{1}{\tau s + 1}} \bullet \frac{R_0}{s} \qquad (17\text{-}4)$$

بتوحيد المقام في مقام المعادلة 4-16نحصل على

$$E(s) = \frac{s(\tau s + 1)}{\tau s^2 + s(K_p + 1) + K_I)} \bullet \frac{R_0}{s} \qquad (18\text{-}4)$$

باستخدام قانون القيمة النهائية نحصل على

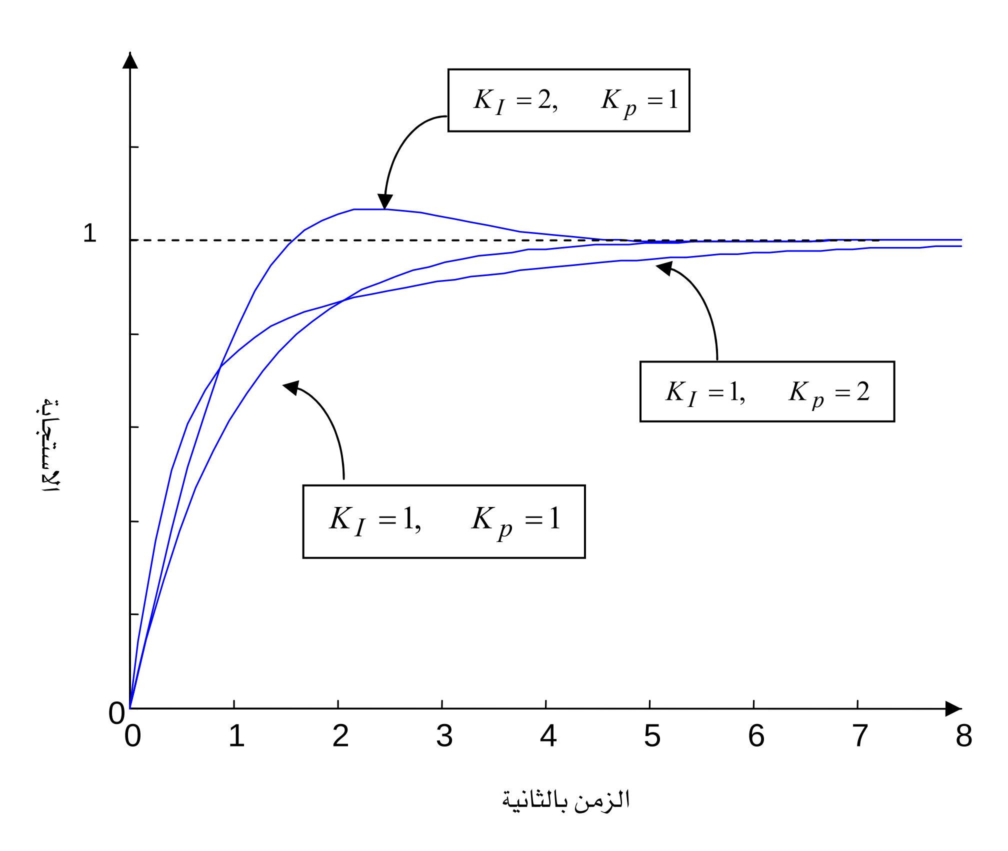
$$e_{ss} = \lim_{s \to 0} sE(s) = \lim_{s \to 0} s \bullet \frac{R_0}{s} \bullet \frac{s(\tau s + 1)}{(\tau s^2 + s(1 + K_p) + K_I)} = 0 \quad (19\text{-}4)$$

يتضح من المعادلة (19-4) أن الحاكم التناسبي التكاملي يلغي إشارة الخطأ ، وهذا يعني أن القيمة النهائية للمتغير المراد التحكم فيه تساوي الدخل المرجعي.

تم عمل محاكاة لحاكم تناسبي تكاملي في حلقة تغذية خلفية أحادية بواسطة برنامج Simulink حيث:

دالة تحويل النظام هي $G_p(s) = \frac{1}{s+1}$ و الدخل المرجعي $r(t) = 1$ وباختيار معامل الحاكم كما يلي

$K_I = 1, \quad K_p = 2 \qquad K_I = 1, \quad K_p = 1 \qquad K_I = 2, \quad K_p = 1$



الشكل 5-4 تأثير الحاكم التناسبي التكاملي على استجابة نظام

تم رسم منحنى الاستجابة بنفس البرنامج (Simulink) في الشكل(6-4) والذي يوضح تأثير الحاكم التناسبي التكاملي على استجابة نظام تحكم مغلق ذي تغذية خلفية أحادية.

تحليل إشارة الخطأ عند استعمال الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي عل النحو التالي:

$$p(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

و دالة تحويله هي:

$$G_c(s) = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \qquad (20\text{-}4)$$

لشرح تأثير الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي على استجابة الحلقة المغلقة نستخدم دخلا مرجعيا على هيئة إشارة خطوة ارتفاعها R_0، $r(t) = \begin{cases} R_0 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$ ، ومن ثم تحويل لابلاس لإشارة الدخل المرجعي هو $R(s) = \frac{R_0}{s}$ ، والنظام المراد التحكم فيه من الرتبة الأولى، الصيغة العامة لدالة تحويله على النحو التالي:

$$G_p(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

وبالتعويض عن $G_c(s)$ و $G_p(s)$ و $R(s)$ في المعادلة 4-7 نحصل على تحويل لابلاس لإشارة الخطأ على النحو التالي:

$$E(s) = \frac{1}{1 + \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \bullet \frac{1}{\tau s + 1}} \bullet \frac{R_0}{s} \qquad (21\text{-}4)$$

بتوحيد المقام في مقام المعادلة 4-20نحصل على

$$E(s)=\frac{s(\tau s+1)}{(\tau+K_D)s^2+(K_p+1)s+K_I)}\bullet\frac{R_0}{s} \quad (22\text{-}4)$$

باستخدام قانون القيمة النهائية نحصل على

$$e_{ss}=\lim_{s\to 0}sE(s)=\lim_{s\to 0}s\bullet\frac{R_0}{s}\bullet\frac{s(\tau s+1)}{(\tau+K_D)s^2+(K_p+1)s+K_I}=0 \quad (23\text{-}4)$$

يتضح من المعادلة (4-23) أن الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي يلغي إشارة الخطأ، وهذا يعني أن القيمة النهائية للمتغير المراد التحكم فيه تساوي الدخل المرجعي.

يوضح الشكل(4-7) مخطط محاكاة بواسطة برنامج Simulink لحاكم تناسبي تكاملي تفاضلي في حلقة تغذية خلفية أحادية حيث

دالة تحويل النظام هي $G_p(s)=\frac{1}{s+1}$ و الدخل المرجعي $r(t)=1$

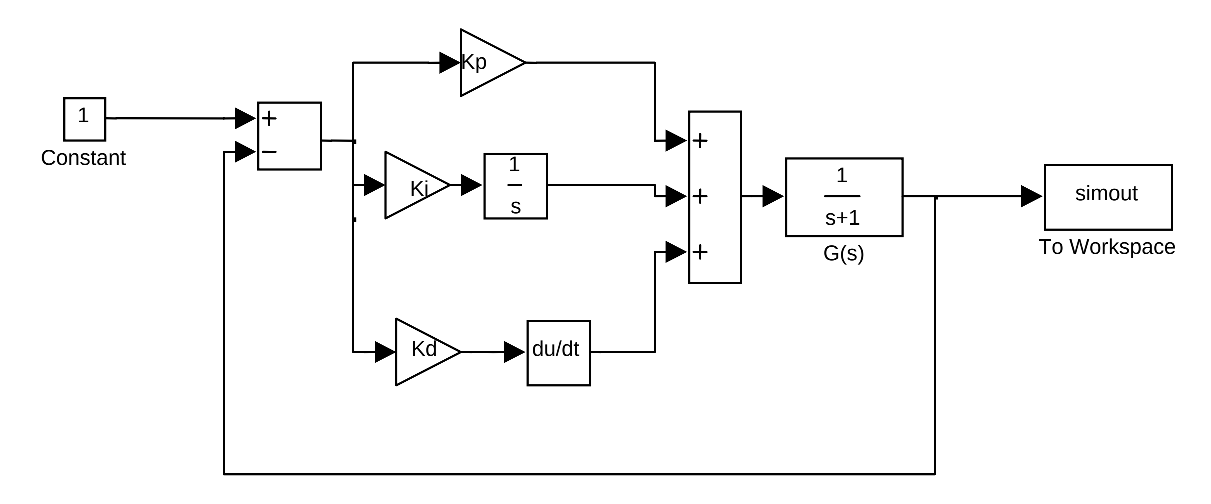
وباختيار معاملات الحاكمات كالآتي:

الحالة الأولى: $K_I=1,\quad K_p=1,\quad K_D=2$

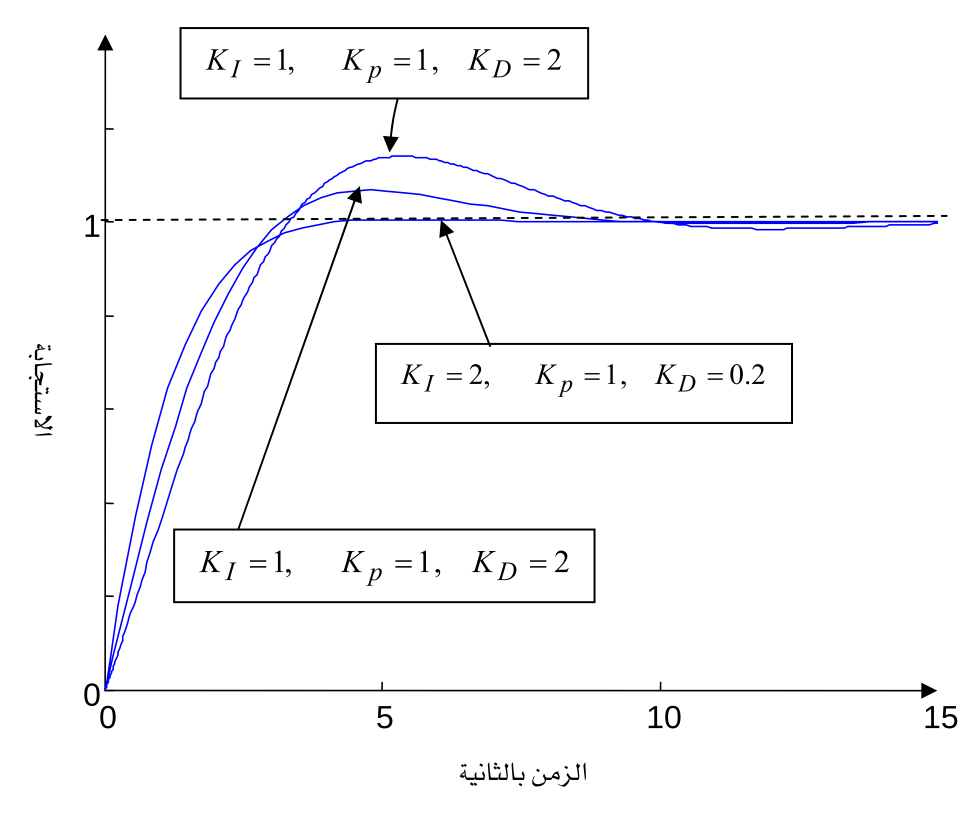
الحالة الثانية: $K_I=1,\quad K_p=1,\quad K_D=1$

الحالة الثالثة: $K_I=2,\quad K_p=1,\quad K_D=0.2$

والشكل(8-4) يوضح تأثير حاكم تناسبي تكاملي تفاضلي (PID) على استجابة النظام.



الشكل 7-4 مخطط محاكاة Simulimk لحاكم PID في حلقة مغلقة



الشكل(8-4) تأثير الحاكم التناسبى التكاملى التفاضلى على استجابة نظام تحكم

تمارين

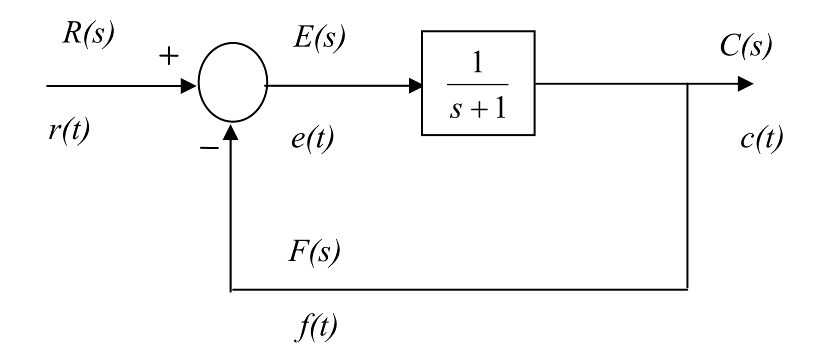
١- لدينا حلقة تغذية خلفية أحادية كما هو موضح في الشكل أدناه

أوجد ما يلي:

دالة تحويل النظام المغلق

تحويل لابلاس لإشارة الخطأ

القيمة النهائية لإشارة الخطأ



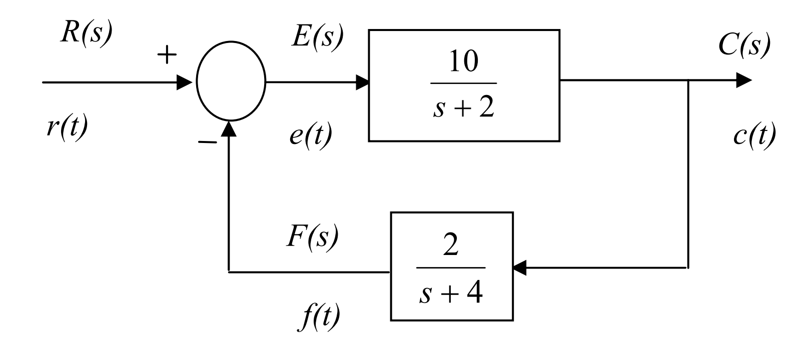
٢- لدينا حلقة تغذية خلفية موضحة بالشكل أدناه

أوجد ما يلي:

دالة تحويل النظام المغلق

تحويل لابلاس لإشارة الخطأ

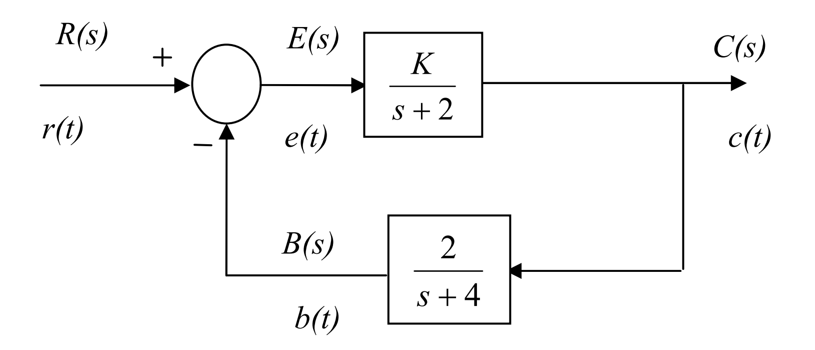
القيمة النهائية لإشارة الخطأ



٣- أثبت أن الحاكم التناسبي في حلقة تغذية خلفية لا يلغي إشارة الخطأ

٤- أثبت أن الحاكم التكاملي في حلقة تغذية خلفية يلغي إشارة الخطأ

٥- أوجد معامل الكسب K المناسب الذي سيلغي إشارة خطأ حالة الاستقرار عند استعمال دخل على هيئة خطوة الوحدة في النظام الموضح أدناه.



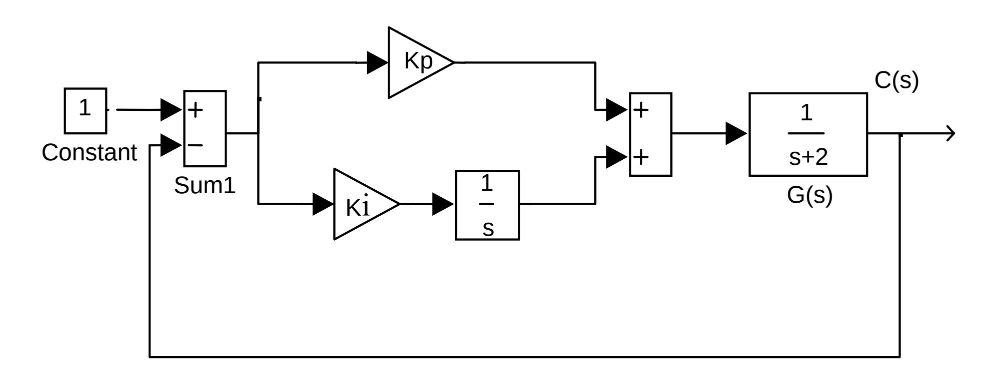
٦- في نظام التحكم الموضح أدناه حدد نوع الحاكم وأوجد الآتي:

دالة تحويل الحاكم

دالة تحويل النظام المغلق

تحويل لابلاس لإشارة الخطأ

إشارة الخطأ عند حالة الاستقرار e_{ss}



٧- في نظام التحكم الموضح أدناه حدد نوع الحاكم وأوجد الآتي:

دالة تحويل الحاكم

دالة تحويل النظام المغلق

تحويل لابلاس لإشارة الخطأ

إشارة الخطأ عند حالة الاستقرار e_{ss}

